



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 42 02 650 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
H 01 L 41/09

②1 Aktenzeichen: P 42 02 650.4
②2 Anmeldetag: 30. 1. 92
④3 Offenlegungstag: 6. 8. 92

DE 42 02 650 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
30.01.91 JP 9887/91

⑦1 Anmelder:
Murata Mfg. Co., Ltd., Nagaokakyo, Kyoto, JP

⑦4 Vertreter:
Schoppe, F., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anw., 8023 Pullach

⑦2 Erfinder:
Hayashi, Seigo; Kittaka, Toshihiko; Ando, Akira,
Nagaokakyo, Kyoto, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung und Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung

⑤7 Es wird ein Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung angegeben, bei der erste und zweite piezoelektrische Keramikschichten derart elektrisch miteinander verbunden sind, daß sie sich in entgegengesetzter Richtung zusammenziehen oder ausdehnen. Wenn bei der ersten oder zweiten piezoelektrischen Schicht t_1 die Dickenabmessung der piezoelektrischen Schicht und E_c die Koerzitivfeldstärke des die piezoelektrische Schicht bildenden piezoelektrischen Materials bedeuten und mit V_1 der Minimalwert des Produktes $E_c \cdot t_1 = V_{c1}$ bezeichnet ist, und wenn bei der anderen piezoelektrischen Schicht t_2 die Dickenabmessung der piezoelektrischen Schicht und E_c die Koerzitivfeldstärke des die piezoelektrische Schicht bildenden piezoelektrischen Materials bedeuten und mit V_2 der Minimalwert des Produktes $E_c \cdot t_2 = V_{c2}$ bezeichnet ist, wird eine elektrische Spannung von nicht weniger als $(V_1 + V_2)$ an die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung angelegt.

DE 42 02 650 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung betrifft allgemein ein Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung, die als ein Stellorgan verwandt wird, und eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 7, und insbesondere ein Treiberverfahren, mit dem ein hohes Maß an Verstellung erhalten wird, und eine für das Treiberverfahren geeignete piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung.

Unter dem Begriff "piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung" im Sinne der Beschreibung und der Ansprüche sei allgemein eine piezoelektrische bimorphe Einrichtung verstanden.

Die Fig. 2 und 3 zeigen Querschnittsansichten eines Beispiels einer herkömmlichen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung.

Eine in Fig. 2 gezeigte piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung besitzt eine Struktur, bei der piezoelektrische Keramikschichten 2 und 3 laminiert sind, wobei sie durch eine Elektrode 4 voneinander getrennt sind, und Elektroden 5 und 6 auf den äußeren Hauptoberflächen ausgebildet sind. Die piezoelektrischen Keramikschichten 2 und 3 werden einer Polarisationsbehandlung in der durch die Pfeile angegebenen Richtung unterzogen.

Zum Treiben wird eine Spannung V_0 zwischen den Elektroden 5 und 6 angelegt, wie es Fig. 2 zeigt.

Andererseits sind bei der in Fig. 3 gezeigten piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung Keramikschichten 8 und 9 laminiert, wobei sie durch eine Elektrode 10 voneinander getrennt sind, und Elektroden 11 und 12 sind auf der Außenseite ausgebildet. Die piezoelektrischen Keramikschichten 8 und 9 werden einer Polarisationsbehandlung in der gleichen, durch die Pfeile angegebenen Richtung unterzogen. Zum Treiben wird eine Spannung V_0 zwischen der Elektrode 10 und den äußeren Elektroden 11 und 12 angelegt.

Die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1 in Fig. 2 wird als eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung vom Reihentyp bezeichnet, da die piezoelektrischen Keramikschichten 2 und 3 elektrisch in Reihe verbunden sind. Andererseits wird die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 7, die in Fig. 3 gezeigt ist, als eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung vom Paralleltyp bezeichnet, da die piezoelektrischen Keramikschichten elektrisch parallel verbunden sind.

Um das gleiche Maß an Verstellung zu erhalten, kann eine Treiberspannung bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 7 vom Paralleltyp halb so groß wie bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung vom Reihentyp sein. Daher ist die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 7 vom Paralleltyp gebräuchlicher.

Mittlerweile ist es bei der vorstehend beschriebenen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung bekannt, daß, wenn die Spannung die Koerzitivfeldstärke eines piezoelektrischen Körpers überschreitet, die Polarisationsrichtung in einer der zwei piezoelektrischen Keramikschichten umgekehrt wird, so daß die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nicht gebogen wird.

Die oben beschriebene Einrichtung wird nun genauer erläutert. Die Gesamtdicke sei t und die Koerzitivfeldstärke bei den piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtungen 1 und 7 sei E_c . Bei der piezoelektrischen

Zweielementkristall-Einrichtung 1 wurde beobachtet, daß bei Anlegen einer $E_c \cdot t$ überschreitenden Spannung die Polarisationsrichtung der Keramikschicht 2 einer Polarisationsbehandlung in der zu der Richtung, in der die Spannung angelegt ist, entgegengesetzten Richtung ausgesetzt wird. Infolgedessen wurde die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1 üblicherweise derart verwendet, daß keine größere Spannung als die vorgenannte Spannung $E_c \cdot t$ angelegt wurde, so daß ein großes Verstellungsmaß nicht erhalten werden kann.

Andererseits wurde bei der in Fig. 3 gezeigten piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 7 auch durch Versuche festgestellt, daß bei Anlegen einer die Größe $E_c \cdot (t/2)$ überschreitenden Spannung, die Polarisationsrichtung umgekehrt wird, so daß an der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 7 keine Verstellung auftritt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung, mit dem eine größere Verstellung erhalten wird, und eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung anzugeben, die eine Struktur aufweist, mit der eine große Verstellung erreicht werden kann.

Diese Aufgabe wird einerseits bei einem Verfahren der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Gattung durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Diese Aufgabe wird andererseits bei einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung der im Oberbegriff des Anspruchs 7 angegebenen Gattung durch die im Kennzeichen des Anspruchs 7 angegebenen Merkmale gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Erfindungsgegenstandes ergeben sich aus den Unteransprüchen.

In Übereinstimmung mit einem grundsätzlichen Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung bereit, die direkt oder indirekt laminierte erste und zweite piezoelektrische Körper umfaßt, wobei jeder der vorgenannten piezoelektrischen Körper eine piezoelektrische Schicht oder eine laminierte piezoelektrische Schicht umfaßt, die durch Laminieren von nicht weniger als zwei piezoelektrischen Schichten erhalten wird, die so einer Polarisationsbehandlung unterworfen und elektrisch miteinander derart verbunden werden, daß sie sich in derselben Richtung ausdehnen oder zusammenziehen, wobei der vorgenannte erste und zweite piezoelektrische Körper elektrisch derart in Reihe miteinander verbunden sind, daß sie sich in entgegengesetzter Richtung zusammenziehen oder ausdehnen, wobei das Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, daß, wenn bei der in dem ersten oder zweiten piezoelektrischen Körper enthaltene piezoelektrische Schicht t_1 die Dickenabmessung der piezoelektrischen Schicht und E_c die Koerzitivfeldstärke des die piezoelektrische Schicht bildenden piezoelektrischen Materials bedeutet und mit V_1 der Minimalwert des Produktes $E_c \cdot t_1 = V_{c1}$ bezeichnet ist, und wenn bei der in dem anderen piezoelektrischen Körper enthaltenen piezoelektrischen Schicht t_2 die Dickenabmessung der piezoelektrischen Schicht und E_c die Koerzitivfeldstärke des die piezoelektrische Schicht bildenden piezoelektrischen Materials bedeutet und mit V_2 der Minimalwert des Produktes $E_c \cdot t_2 = V_{c2}$ bezeichnet ist, eine elektrische Spannung von nicht weniger als $(V_1 + V_2)$ an die obige piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung angelegt wird.

Ferner stellt die vorliegende Erfindung gemäß einem

grundsätzlichen Aspekt eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung bereit, die direkt oder indirekt laminierte erste und zweite piezoelektrische Körper umfaßt, und dadurch gekennzeichnet ist, daß sie so ausgestaltet ist, daß einer der vorgenannten piezoelektrischen Körper eine piezoelektrische Schicht oder eine laminierte piezoelektrische Schicht aufweist, die durch Laminieren von nicht weniger als zwei piezoelektrischen Schichten erhalten wird, und der andere eine laminierte piezoelektrische Schicht aufweist, die durch Laminieren von nicht weniger als zwei piezoelektrischen Schichten erhalten wird, und daß eine Vielzahl von piezoelektrischen Schichten in jeder der laminierten piezoelektrischen Schichten so einer Polarisationsbehandlung unterworfen und elektrisch miteinander derart verbunden wird, daß sie sich in derselben Richtung ausdehnen oder zusammenziehen. Der vorgenannte erste und zweite piezoelektrische Körper sind elektrisch derart in Reihe miteinander verbunden, daß die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung so betrieben wird, daß sich der erste und der zweite piezoelektrische Körper in entgegengesetzter Richtung zusammenziehen oder ausdehnen.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1 vom Reihentyp, die in Fig. 2 gezeigt ist, und ein Verfahren zum Treiben der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtungen vom Reihentyp, die in den weiter unten beschriebenen Ausführungsformen beschrieben sind. Das Grundprinzip der vorliegenden Erfindung wird beschrieben, indem beispielhaft das Verfahren zum Treiben der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 in Fig. 2 eingesetzt wird.

Die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1 entspricht einer Struktur, bei der zwei Kapazitäten auf einer elektrischen Schaltungsbasis in Reihe geschaltet sind. Wenn eine Spannung zwischen den Elektroden 5 und 6 angelegt wird, haben die auf den in Fig. 2 gezeigten Elektroden 5 und 6 induzierten Ladungen entgegengesetzte Vorzeichen und den gleichen Absolutwert.

Die elektrischen Eigenschaften der piezoelektrischen Keramikschichten 2 und 3, die als die obige piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung bildenden piezoelektrischen Körper wirken, werden näher betrachtet. Fig. 1 zeigt die Beziehung zwischen einem typischen elektrischen Feld und der Ladung Q in dem piezoelektrischen Körper. Im allgemeinen zeigen piezoelektrische Keramiken eine Hysterese, wie in Fig. 1 gezeigt, in der Beziehung zwischen dem elektrischen Feld E und der Ladung Q , was eine charakteristische Eigenschaft der Ferroelektrika ist. Wenn ein positives Potential an die Elektrode 5 gelegt wird, beispielsweise ein elektrisches Feld in der zu der Polarisationsrichtung entgegengesetzten Richtung auf die piezoelektrische Keramikschicht 2 angewandt wird, so wird eine Ladung ΔQ_B in dieser gemäß einer Kurve RB induziert, die in Fig. 1 gezeigt ist. Andererseits wird eine Ladung ΔQ_A in der piezoelektrischen Keramikschicht 3 längs einer Kurve RA induziert.

Bei dem Treiberverfahren nach der Erfindung ist die Beziehung (Absolutwert von ΔQ_A) = (Absolutwert von ΔQ_B) stets erfüllt, wie es oben beschrieben ist. Wenn E_B die Stärke eines auf die piezoelektrische Keramikschicht 2 angewandten elektrischen Feldes und E_A die Stärke eines auf die piezoelektrische Keramikschicht 3 angewandten elektrischen Feldes bedeuten, so stellt sich heraus, daß bei der in Fig. 1 gezeigten Hysterese die

Beziehung $E_A > E_B$ gilt.

Ein angelegtes elektrisches Feld verteilt sich über einen großen Bereich auf der Seite der piezoelektrischen Keramikschicht 3, auf der die Polarisationsrichtung und die Richtung des angelegten elektrischen Feldes miteinander übereinstimmen, während es nur über einen kleinen Bereich auf der Seite der piezoelektrischen Keramikschicht 2 verteilt ist, auf der die Polarisationsrichtung und die Richtung des angelegten elektrischen Feldes zueinander entgegengesetzt sind.

Bei einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung vom in Fig. 2 gezeigten Reihentyp hat man herkömmlich überlegt, daß, wenn t die Gesamtdicke der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 und E_c die Koerzitivfeldstärke ist, die Polarisationsrichtung umgekehrt wird, wenn eine $E_c \cdot t = V_G$ überschreitende Spannung angelegt wird.

Tatsächlich verteilt sich aber ein angelegtes elektrisches Feld über einen kleinen Bereich auf der Seite der piezoelektrischen Keramikschicht 2, wenn $V_0 > 0$ ist, während es sich über einen kleinen Bereich auf der Seite der piezoelektrischen Keramikschicht 3 verteilt, wenn $V_0 < 0$ ist, wie es oben beschrieben wurde.

Daher wurde herausgefunden, daß selbst bei Anlegen einer Spannung, die $E_c \cdot t$ überschreitet, die Polarisationsrichtung nicht umgekehrt wird, bis ein E_c überschreitendes Feld tatsächlich an die piezoelektrische Keramikschicht 2 selbst angelegt wird, wenn $V_0 > 0$ ist. Bei der vorliegenden Erfindung wird deshalb die $E_c \cdot t$ überschreitende Spannung positiv im Hinblick darauf angewandt, daß die Polarisationsrichtung nicht sofort umgekehrt wird, selbst wenn die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1 durch Anlegen einer $E_c \cdot t$ überschreitenden Spannung getrieben wird, wodurch es ermöglicht wird, daß ein großes Maß an Verstellung erhalten wird, das herkömmlich nicht erzielbar war.

Nun hängen die maximale angelegte Spannung und die maximale Verstellungsgröße von der Form der Hysteresekurve des elektrischen Feldes gegenüber der elektrischen Flußdichte ab, die beide theoretisch auf beliebige Werte eingestellt werden können, indem das Verhältnis der Gradienten der Hysterese in positiven und negativen Bereichen des elektrischen Feldes gesteuert werden.

Ein Treiberverfahren nach der Erfindung verwendet das oben beschriebene Grundprinzip. Die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung wird wie nachfolgend beschrieben getrieben, da sie die oben beschriebene besondere Struktur aufweist. Genauer, wenn t_1 die Dicke der piezoelektrischen Schicht, die in einem der piezoelektrischen Körper enthalten ist, und E_c die Koerzitivfeldstärke eines die piezoelektrische Schicht bildenden piezoelektrischen Materials bedeuten und V_1 die minimale Spannung des Produktes $E_c \cdot t_1 = V_{c1}$ und V_2 die minimale Spannung des Produktes aus der Koerzitivfeldstärke und der Dicke bedeuten, die in der gleichen Weise wie bei der in dem anderen piezoelektrischen Körper enthaltenen piezoelektrischen Schicht ermittelt wird, so wird eine Spannung von nicht weniger als $(V_1 + V_2)$ an die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung angelegt.

Erfindungsgemäß wird ein größeres Maß an Verstellung erhalten, indem ein größeres elektrisches Feld zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung im Hinblick darauf angelegt wird, daß ein angelegtes elektrisches Feld über einen kleinen Bereich verteilt ist, wenn das elektrische Feld in der zu der Polarisationsrichtung entgegengesetzten Richtung angelegt

wird.

Ferner wird gemäß einem anderen Aspekt der Erfindung eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung bereitgestellt, bei der das oben beschriebene Treiberverfahren angewandt wird. Bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung sind erste und zweite piezoelektrische Körper direkt oder indirekt laminiert. Der Ausdruck "indirekt laminiert" wird verwandt, um damit auszudrücken, daß ein plattenförmiges Element, wie eine Metallplatte oder eine isolierende Keramikschicht, zwischen den ersten und den zweiten Körper eingefügt werden kann.

Die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung ist so konstruiert, daß der erste und der zweite piezoelektrische Körper elektrisch in Reihe verbunden sind, so daß die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung so getrieben wird, daß sich der erste und der zweite piezoelektrische Körper in entgegengesetzter Richtung ausdehnen oder zusammenziehen, um als eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung zu arbeiten. Daher kann die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung gemäß dem oben beschriebenen Treiberverfahren nach der vorliegenden Erfindung getrieben werden, um es dadurch zu ermöglichen, ein großes Maß an Verstellung zu erhalten, welches bislang nicht erhalten werden konnte.

Es ist mit dem Treiberverfahren nach der vorliegenden Erfindung möglich, sehr große Verstellungswerte zu erhalten, die mit dem herkömmlichen Treiberverfahren bei einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nicht erhalten werden können. Daher ist es möglich, ein Stellorgan zu schaffen, das sich zur Verwendung als Verschluss einer Kamera, ein Relais oder ähnliches eignet.

Ferner kann eine an eine piezoelektrische Schicht, auf die ein zur Polarisationsrichtung elektrisches Feld mit entgegengesetzter Richtung angelegt wird, gelegte Spannung kleiner als herkömmlich sein, wodurch es möglich ist, eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung zu erhalten, die im Hinblick auf die Stabilität bezüglich Zeit und Zuverlässigkeit überlegen ist.

Ferner ist es bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung möglich, die gleiche Größe an Verstellung bei der gleichen oder einer kleineren Spannung verglichen mit einer monolithischen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung vom Paralleltyp zu erhalten, indem die Anzahl der piezoelektrischen Schichten geändert wird. Ferner wird eine große Verstellung erhalten, wenn das Treiberverfahren nach der Erfindung verwandt wird.

Der Erfindungsgegenstand wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Verstellgröße und einer angelegten Spannung zeigt, um das Prinzip der Erfindung zu erklären;

Fig. 2 eine Querschnittsdarstellung einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung, die bei der ersten Ausführungsform verwandt wird;

Fig. 3 eine Querschnittsdarstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zum Treiben einer herkömmlichen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung;

Fig. 4 eine Querschnittsdarstellung, die ein abgeändertes Beispiel einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung zeigt, die bei einem Treiberverfahren gemäß der ersten Ausführungsform verwandt wird;

Fig. 5 eine Querschnittsdarstellung, die ein abgeän-

dertes Beispiel einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung zeigt, die bei einem Treiberverfahren gemäß einer zweiten Ausführungsform verwandt wird;

Fig. 6 eine Querschnittsdarstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung vom Paralleltyp als Vergleichsbeispiel;

Fig. 7 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Größe der Verstellung und einer angelegten Spannung bei der Ausführungsform und bei einem herkömmlichen Beispiel zeigt;

Fig. 8 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen einer angelegten Spannung und der Größe der Verstellung bei der Ausführungsform und bei dem herkömmlichen Beispiel zeigt;

Fig. 9 eine schematische Querschnittsdarstellung, die eine herkömmliche piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung mit drei Anschlußklemmen zeigt;

Fig. 10 eine schematische Querschnittsdarstellung, die eine herkömmliche piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung vom Paralleltyp zeigt;

Fig. 11 eine schematische Querschnittsdarstellung, die eine monolithische piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 12 ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Größe der Verstellung und einer angelegten Spannung bei den Ausführungsformen und bei dem herkömmlichen Beispiel zeigt;

Fig. 13 eine perspektivische Ansicht zur Erläuterung der Formen der keramischen, sich im rohen Zustand befindenden Platten und der auf ihnen ausgebildeten Leiterpasten, die bei der Herstellung einer anderen Ausführungsform der monolithischen, piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach der Erfindung verwandt werden;

Fig. 14 eine Querschnittsdarstellung zur Erläuterung des Herstellungsverfahrens für die Ausführungsform gemäß Fig. 11;

Fig. 15 eine schematische Querschnittsdarstellung, die eine monolithische, piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung in einem ersten, abgewandelten Beispiel des anderen Ausführungsbeispiels der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 16 eine schematische Querschnittsdarstellung, die eine monolithische, piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung bei einem zweiten, abgewandelten Beispiel des anderen Ausführungsbeispiels der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 17 eine schematische Querschnittsdarstellung, die eine monolithische, piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung in einem dritten, abgewandelten Beispiel des anderen Ausführungsbeispiels der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 18 eine schematische Querschnittsdarstellung, die eine monolithische piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung in einem vierten, abgewandelten Beispiel des anderen Ausführungsbeispiels der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 19 eine schematische Querschnittsdarstellung, die eine monolithische piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung in einem fünften, abgewandelten Beispiel des anderen Ausführungsbeispiels der piezo-

elektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung zeigt;

Fig. 20 eine perspektivische Darstellung, die das Verfahren zur Herstellung einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung zeigt, die durch getrenntes Befestigen des ersten und des zweiten Körpers geschaffen wird;

Fig. 21 eine perspektivische Darstellung, die ein abgewandeltes Beispiel der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung gemäß der Ausführungsform in Fig. 11 zeigt;

Fig. 22 eine perspektivische Darstellung, die ein anderes abgewandeltes Beispiel der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung gemäß der Ausführungsform in Fig. 11 zeigt; und

Fig. 23 eine perspektivische Darstellung, die ein noch anderes abgewandeltes Beispiel der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung gemäß der Ausführungsform in Fig. 11 zeigt.

Erstes Ausführungsbeispiel

Unter Bezugnahme auf die Fig. 2 wird ein Treiberverfahren gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung beschrieben.

Zwei einzelne Platten aus piezoelektrischem Keramikmaterial eines $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ -Systems mit einer Dicke von 0,2 mm werden zuerst vorbereitet. Leiterpaste wird auf beide Hauptoberflächen jeder der einzelnen Platten aufgetragen, und die gleiche Spannung wird in Dickenrichtung angelegt, um die einzelne Platte einer Polarisationsbehandlung auszusetzen. Die zwei genannten Platten werden dann gebondet und miteinander derart verbunden, daß sie eine entgegengesetzte Polarisationsrichtung aufweisen, wodurch eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1, die in Fig. 2 gezeigt ist, erhalten wird. Die hergestellte piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1 besitzt eine Gesamtdicke von 0,4 mm, eine effektive Länge von 20 mm und eine Breite von 5 mm.

Ferner wird zum Vergleich eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 7 vom Paralleltyp, die in Fig. 3 gezeigt ist, aufgebaut, wobei einzelne Platten verwandt werden, die aus dem gleichen piezoelektrischen Keramikmaterial wie vorhergehend hergestellt sind. Die zwei einzelnen Platten aus piezoelektrischem Keramikmaterial werden gebondet und miteinander derart verbunden, daß sie die gleiche Polarisationsrichtung aufweisen, im Gegensatz zu dem Fall der Art, in der die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1 hergestellt worden ist, um eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 7 der gleichen Größenabmessungen verglichen mit der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 zu erhalten.

Die oben beschriebene piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1 und die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 7 werden durch Anlegen einer Spannung getrieben, wie es gezeigt ist. In diesem Fall sind die Beziehungen zwischen den jeweiligen Größen der Verstellung der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtungen 1 und 7 und der angelegten Spannung jeweils durch eine ausgezogene Linie und eine strichpunktierte Linie in Fig. 7 dargestellt.

In der Fig. 7 ist zu erkennen, daß eine Verstellungsgröße, die etwa das Zweifache derjenigen bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 7 vom Paralleltyp ist, bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 vom Reihentyp erhalten wird. Das

bedeutet, daß eine sehr große Spannung an die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 1 angelegt werden kann, um dadurch ein größeres Maß an Verstellung zu erhalten.

5 Ferner zeigt die folgende Tabelle 1 die Beziehung zwischen einer an die Gesamtdicke der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 zum Treiben der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 angelegten Spannung und den Spannungen, die in diesem Fall an die piezoelektrischen Keramikschichten 2 und 3 angelegt werden.

Tabelle 1

Spannung (V) an der Gesamtdicke	Spannung (V) an der Schicht, bei der Richtung der Polarisation und des elektrischen Feldes übereinstimmen	Spannung (V) an der Schicht, bei der Richtung der Polarisation und des elektrischen Feldes nicht übereinstimmen
15		
20		
100	79	21
200	153	47
25 300	226	74
400	298	102

Der vorstehenden Tabelle 1 läßt sich entnehmen, daß eine hohe Spannung an die piezoelektrische Keramikschicht 3 angelegt wird, bei der die Richtung der Polarisierung und die des elektrischen Feldes miteinander übereinstimmen, während eine niedere Spannung an die piezoelektrische Keramikschicht 2 angelegt wird, bei der die Richtung der Polarisierung und die des elektrischen Feldes entgegengesetzt sind. Das Verhältnis der an die piezoelektrischen Keramikschichten gelegten Spannungen beträgt 1 : 3. Daher ergibt sich, daß eine Spannung, die ein Viertel der an die Gesamtdicke gelegten Spannung ist, nur auf der Seite der piezoelektrischen Keramikschicht 2 verteilt ist, bei der die Richtung der Polarisierung und die des elektrischen Feldes zueinander entgegengesetzt sind. Demgemäß kann eine Spannung, die ungefähr zweimal $E_c \cdot t$ ist, von der man annahm, daß durch sie die Polarisationsrichtung umgekehrt wird, an die Gesamtdicke t der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 gelegt werden.

Daher wird eine Verstellungsgröße erhalten, die etwa zweimal derjenigen beim herkömmlichen Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung ist. Die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung, auf die das Treiberverfahren nach der Erfindung anwendbar ist, ist nicht auf die in Fig. 2 gezeigte beschränkt. Beispielsweise kann es eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung mit einer Struktur sein, bei der piezoelektrische Keramikschichten 2 und 3 aneinander befestigt sind, wobei sie durch eine Metallplatte 4a aus einem Metall, das ein sogenanntes Sim-Material sein kann, getrennt sind, wie es im Querschnitt in Fig. 4 gezeigt ist. Das heißt, es kann eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung sein, bei der piezoelektrische Keramikschichten 2 und 3 indirekt laminiert sind, wobei sie durch eine Metallplatte 4a aus einem Sim-Material getrennt sind. Auch in diesem Fall wird die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung gemäß dem oben beschriebenen Treiberverfahren entsprechend der ersten Ausführungsform der Erfindung getrieben, wodurch es möglich ist, ein größeres

Verstellungsmaß verglichen mit dem herkömmlichen Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung zu erhalten.

Zweites Ausführungsbeispiel

Fig. 5 zeigt in Querschnittsdarstellung eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 21, die gemäß einem Treiberverfahren entsprechend einem zweiten Ausführungsbeispiel nach der Erfindung getrieben wird.

Zuerst werden drei einzelne Platten aus einem piezoelektrischen Keramikmaterial mit der gleichen Größe hergestellt. Leiterpaste für die Elektroden wird auf beide Hauptoberflächen einer jeden der drei einzelnen Platten aufgebracht, und dann wird die gleiche Spannung an zwei von den drei Platten in Dickenrichtung angelegt, um die zwei Platten einer Polarisationsbehandlung zu unterwerfen. Die beiden einzelnen Platten aus piezoelektrischem Keramikmaterial, die der Polarisationsbehandlung ausgesetzt waren, werden gebondet und auf beiden Seiten der einzelnen Platte aus Keramikmaterial angebracht, die keiner Polarisationsbehandlung ausgesetzt war, um eine in Fig. 5 gezeigte piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung zu erhalten.

In Fig. 5 bezeichnen Bezugszeichen 22 und 23 piezoelektrische Keramikschichten, die einer Polarisationsbehandlung ausgesetzt sind, die jeweils von den oben beschriebenen einzelnen Platten aus piezoelektrischem Keramikmaterial gebildet sind, die einer Polarisationsbehandlung unterworfen wurden. Andererseits bezeichnet das Bezugszeichen 24 eine Keramikschicht, die von der einzelnen Platte gebildet wird, die keiner Polarisationsbehandlung ausgesetzt war. Die piezoelektrischen Keramikschichten 22 und 23 werden so einer Polarisationsbehandlung ausgesetzt, daß sie eine entgegengesetzte Polarisationsrichtung aufweisen. Diese piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 21 wird über die elektrischen Anschlüsse gespeist, wie es in Fig. 5 gezeigt ist. Das heißt, daß die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 21 wie die oben beschriebene piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung vom Reihentyp betrieben wird.

Zum Vergleich wird eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 29, die in Fig. 6 gezeigt ist, in der gleichen Weise wie die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 21 hergestellt. Die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 29 unterscheidet sich von der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 21 dadurch, daß die Polarisationsrichtung der piezoelektrischen Keramikschichten 30 und 31 miteinander übereinstimmen. Ferner wird die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 29 wie die oben beschriebene piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung vom Paralleltyp über elektrische Anschlüsse gespeist, wie sie in Fig. 6 gezeigt sind.

Fig. 8 zeigt die Beziehung zwischen der angelegten Spannung und den jeweiligen Verstellungsgrößen bei den Fällen, bei denen die piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtungen 21 und 29 getrieben werden. Die in Fig. 8 gezeigten Kennlinien sind die gleichen wie jene bei dem ersten Ausführungsbeispiel, mit der Ausnahme, daß die Dicke einer jeden piezoelektrischen Keramikschicht 22, 23, 30 und 31 und die Keramikschicht 24 0,13 mm beträgt, so daß die piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtungen 21 und 29 eine Gesamtdicke von 0,4 mm besitzen.

Wie in Fig. 8 zu erkennen ist, kann bei einem Treiben

der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 21 vom Reihentyp die angelegte Spannung größer gemacht werden, wie es durch eine durchgehende Linie angezeigt ist; dadurch ist es möglich, eine Verstellungsgröße zu erhalten, die nicht kleiner als das Zweifache der Verstellgröße bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 29 vom Paralleltyp ist. Wie man aus Fig. 8 erkennt, kann bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 21 vom Reihentyp eine Spannung an die Gesamtdicke angelegt werden, die etwa zweimal $E_c \cdot 2t/3$ ist und bei der man davon ausgegangen war, daß sich die Polarisationsrichtung umkehrt; dadurch ist es möglich, eine Verstellungsgröße zu erhalten, die der zweifachen Verstellgröße der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 29 vom Paralleltyp entspricht.

Drittes Ausführungsbeispiel

Eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung mit der gleichen Struktur wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel wird verwandt.

Die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung unterscheidet sich von der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 dadurch, daß eine Leiterpaste für eine Elektrode auf eine Hauptoberfläche von jeder der zwei einzelnen, aus einem piezoelektrischen Keramikmaterial hergestellten Platten aufgetragen wird und daß der Vorgang, eine Leiterpaste für eine Elektrode auf der anderen Hauptoberfläche aufzutragen, unterbleibt, statt eine Leiterpaste für Elektroden auf beiden Hauptoberflächen jeder der zwei einzelnen Platten aus einem piezoelektrischen Keramikmaterial aufzutragen. Die einzelne Platte wird einer Polarisationsbehandlung unterworfen, indem die Hauptoberfläche, auf die keine Leiterpaste aufgetragen worden war, gegen leitenden Gummi gedrückt wird.

Die jeweiligen Hauptoberflächen der beiden einzelnen aus einem piezoelektrischen Keramikmaterial hergestellten und einer Polarisationsbehandlung ausgesetzten Platten, auf die keine Leiterpaste aufgetragen worden war, werden aneinander gebondet, so daß die einzelnen Platten eine entgegengesetzte Polarisationsrichtung aufweisen; dadurch ergibt sich eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung mit einer Struktur, bei der die innere Elektrode von der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 entfernt ist.

Eine Spannung wird an die derart erhaltene piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung über die gleichen elektrischen Anschlüsse wie bei der in Fig. 2 gezeigten piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung angelegt. Dann wird bestätigt, daß die gleiche Beziehung wie bei der Beziehung zwischen der angelegten Spannung und der Größe der Verstellung bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 1 des ersten Ausführungsbeispiels (die in Fig. 7 gezeigte Beziehung) erhalten wird.

Infolgedessen wird festgestellt, daß das Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung allgemein auf piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtungen anwendbar ist, die durch Laminierung eines ersten und eines zweiten Keramikkörpers erhalten werden, die entgegengesetzte Polarisationsrichtungen aufweisen, unabhängig davon, ob eine innere Elektrode vorhanden ist oder fehlt.

Ausführungsbeispiele einer monolithischen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung mit nicht weniger als drei piezoelektrischen Schichten

Eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung mit nicht weniger als drei piezoelektrischen Keramikschichten, die als piezoelektrische Schichten wirken, ist herkömmlich bekannt. Dieser Typ einer herkömmlich verwandten monolithischen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung ist in den Fig. 9 und 10 gezeigt.

Damit ein elektrisches Feld an jede der piezoelektrischen Keramikschichten 42a bis 42c und 43a bis 43c gelegt werden kann, sind Elektroden 44a bis 44g so angeordnet, daß sie einander überlappen, aber durch die piezoelektrischen Keramikschichten voneinander getrennt sind.

Beim Betreiben der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 41 dehnen sich der erste piezoelektrische Körper 42 und der zweite piezoelektrische Körper 43 in entgegengesetzte Richtungen aus oder ziehen sich zusammen, wenn Anschlußelektroden 45a, 45b und 45c vorgesehen sind und Potentiale von 2 V, 1 V und 0 V an die jeweiligen Anschlußelektroden gelegt werden. Die monolithische piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 41 dieses Typs wird als eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung vom Typ mit drei Anschlüssen bezeichnet.

Fig. 10 zeigt die schematische Darstellung eines anderen Beispiels einer monolithischen, piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung, die herkömmlicher Weise verwandt wird. Diese piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 51 gehört zu der oben beschriebenen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung vom Paralleltyp und besitzt einen ersten piezoelektrischen Körper 52, der piezoelektrische Keramikschichten 52a bis 52c aufweist, die als piezoelektrische Schichten wirken, und einen zweiten piezoelektrischen Körper 53, der piezoelektrische Keramikschichten 53a bis 53c aufweist. Damit ein elektrisches Feld an jede der piezoelektrischen Keramikschichten 52a bis 52c und 53a bis 53c angelegt werden kann, sind Elektroden 54a bis 54g so angeordnet, daß sie einander überlappen, aber durch die piezoelektrischen Keramikschichten voneinander getrennt sind. Anschlußelektroden 55 und 56 sind an beiden Endoberflächen des laminierten Körpers vorgesehen.

Beim Betreiben der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 51 dehnen sich der erste piezoelektrische Körper 52 und der zweite piezoelektrische Körper 53 in entgegengesetzte Richtungen aus oder ziehen sich zusammen, indem abwechselnd Spannungen entgegengesetzter Polarität an die Anschlußelektroden 55 und 56 angelegt werden.

Bei der oben beschriebenen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 51 vom Paralleltyp umfassen der erste und der zweite piezoelektrische Körper 52 und 53 jeweils eine Vielzahl von piezoelektrischen Keramikschichten 52a bis 52c bzw. 53a bis 53c. Demgemäß wird eine große Verstellung bei niedriger Spannung erhalten. Jedoch wird verlangt, daß ein größeres Maß an Verstellung erreicht wird. Ferner wird die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 41 vom Typ mit drei Anschlüssen, die in Fig. 9 gezeigt ist, nicht häufig verwandt, da die erforderliche Spannung für das gleiche Maß an Verstellung doppelt so groß ist wie bei der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 51 vom Paralleltyp, wobei die maximal erzielbaren Ver-

stellungsgrößen in diesen Fällen übereinstimmen.

Fig. 11 zeigt ein schematisches Diagramm einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 61 gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Diese piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 61 gehört zur piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung vom Reihentyp entsprechend der oben angegebenen Einteilung. Ein wesentlich größeres Verstellungsmaß als bei der herkömmlichen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 51 vom Paralleltyp oder der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 41 vom Typ mit drei Anschlüssen kann mit der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 61 erreicht werden, wie durch die folgende Beschreibung verdeutlicht wird.

Die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 61 besitzt eine Struktur, bei der ein erster piezoelektrischer Körper 62 piezoelektrische Keramikschichten 62a bis 62c umfaßt, die als piezoelektrische Schichten wirken, und ein zweiter piezoelektrischer Körper 63 piezoelektrische Keramikschichten 63a bis 63c aufweist, die laminiert sind. Damit ein elektrisches Feld an jede der piezoelektrischen Keramikschichten 62a bis 62c und 63a bis 63c gelegt werden kann, sind Elektroden 64a bis 64g so ausgebildet, daß sie einander überlappen. Zum Anlegen einer Spannung sind Anschlußelektroden 65a, 65b und 65c an den Endoberflächen des laminierten Körpers ausgebildet, wie es Fig. 11 zeigt.

Beim Betreiben der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 61 wird eine Spannung an die Anschlußelektroden 65a und 65b gelegt, wie es in Fig. 11 gezeigt ist. Der erste piezoelektrische Körper 62 und der zweite piezoelektrische Körper 63 dehnen sich in entgegengesetzte Richtungen aus oder ziehen sich zusammen, indem abwechselnd die Polarität der angelegten Spannung umgekehrt wird, so daß die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 61 als eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung betrieben wird.

Die Beziehungen zwischen dem Verstellungsmaß der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtungen 41, 51 und 61, die in den Fig. 9 bis 11 gezeigt und in der oben angegebenen Weise aufgebaut sind, und den angelegten Spannungen sind in der Fig. 12 gezeigt. In der Fig. 12 stellen eine dicke durchgehende Linie, eine dünne Linie und eine strichpunktierte Linie jeweils die Kennlinie der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 61 gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 51 vom Paralleltyp und der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 41 vom Typ mit drei Anschlüssen dar. Ferner ist zum Vergleich die Kennlinie der herkömmlichen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 7 vom Paralleltyp, die in Fig. 3 gezeigt ist, durch eine unterbrochene, jeweils zwei Punkte aufweisende Linie angegeben.

Die zum Messen der Kennlinien hergestellten piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtungen besitzen alle eine Länge von 25 mm, eine Breite von 10 mm und eine Dicke von 0,3 mm, wobei als piezoelektrisches Material eines mit $d_{31} = 250 \cdot 10^{-12}$ m/V verwandt wurde.

Man erkennt aus der Fig. 12, daß die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 61, die zu einem piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung Reihentyp gehört, mit einer sehr hohen angelegten Spannung betrieben werden kann, so daß das Maximum an Verstellungsgröße ungefähr zweimal so groß wie das bei

der piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtungen 41 und 51 ist.

Ein Beispiel eines Verfahrens zum Herstellen der oben beschriebenen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 61 wird unter Bezugnahme auf die Fig. 13 beschrieben. Eine sich im rohen Zustand befindende, sogenannte "grüne" Keramikplatte aus einem piezoelektrischen Material aus einem $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ -System, das eine Zusammensetzung in der Nähe der Grenze einer morphotropen Phase besitzt, die durch Austauschen von Pb durch eine geringe Menge Sr und durch Hinzufügen von Additiven erhalten wird, wird mit einem Abziehklingenverfahren hergestellt. Eine hauptsächlich aus Ag-Pd bestehende Leiterpaste wird auf die grüne, sich im rohen Zustand befindende Keramikplatte aufgedruckt. Die Leiterpaste wird derart von einer Kante der rechteckigen, sich im rohen Zustand befindenden, grünen Keramikplatte her aufgedruckt, daß sie sich nicht bis ganz zur anderen Kante erstreckt.

Sich im rohen Zustand befindende Keramikplatten bzw. "grüne" Keramikschichten mit jeweils aufgedruckter Leiterpaste werden laminiert, wie es im Fig. 13 gezeigt ist. Sechs sich im rohen Zustand befindende Keramikplatten 71 werden so angeordnet, daß die Richtungen der aufgedruckten Leiterpasten 72 abwechselnd entgegengesetzt zueinander sind, und werden in diesem Zustand laminiert. Bei der untersten, sich im rohen Zustand befindenden Keramikplatte 71 ist die Leiterpaste auch auf deren untere Oberfläche aufgedruckt.

Die sich im rohen Zustand befindenden Keramikplatten werden aneinander gebondet, indem ein Druck von 0,5 bis 2 Tonnen/cm² in Dickenrichtung aufgebracht und bei einer Temperatur von 1100 bis 1250°C während mehrerer Stunden aufrechterhalten wird. Daran schließt sich ein Sintern an. Die Größe der Einrichtung nach dem Sintern beläuft sich auf eine Dicke von 0,3 mm, eine Breite von 10 mm und eine Länge von 40 mm.

Wie in Fig. 14 gezeigt ist, werden dann die Anschlußelektroden 74 und 65c an beiden Endoberflächen des erhaltenen, gesinterten Körpers 73 ausgebildet; eine Spannung von 50 bis 250 V wird zwischen die Anschlußelektroden 74 und 65c gelegt, wodurch jede der Keramikschichten 62a bis 62c und 63a bis 63c des gesinterten Körpers 73 einer Polarisationsbehandlung in der durch die Pfeile angegebenen Richtung unterworfen wird. Dann wird ein schraffierter Anschlußelektrodenbereich 75 in der Mitte einer der beiden Anschlußelektroden entfernt, um Anschlußelektroden 65a und 65b zu bilden. Die in Fig. 11 gezeigte piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 61 wird somit erhalten.

Abgewandeltes Beispiel

Bei der in Fig. 11 gezeigten piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung 61 sind die Elektroden 64a bis 64g elektrisch miteinander über die Anschlußelektroden 65a bis 65c verbunden, die an beiden Enden des gesinterten Körpers 73 ausgebildet sind. Andererseits können die Elektroden 64a bis 64g ähnlich miteinander elektrisch durch Lochelektroden 81 bis 83 verbunden werden, die innerhalb des gesinterten Körpers 73 hergestellt sind, wie es in Fig. 15 schematisch zeigt.

Nachdem die Elektroden 64a bis 64g so geformt sind, daß sie zu beiden Endoberflächen 73a und 73b des gesinterten Körpers 73 reichen, können Isolatoren 84a bis 84e, beispielsweise aus Glas, auf die Endoberflächen 73a und 73b aufgebracht werden, so daß die inneren Elek-

troden 64a bis 64g von den Anschlußelektroden 65a bis 65c isoliert werden, mit denen sie nicht in Verbindung stehen sollen. In diesem Fall werden die Endelektroden 65a bis 65c geformt, nachdem die Isolatoren 84a bis 84e angebracht worden sind.

Obgleich die monolithische piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 61, die in Fig. 11 gezeigt ist, einen ersten und einen zweiten piezoelektrischen Körper 62 bzw. 63 aufweist, von denen jeder drei Keramikschichten umfaßt, ist die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach der Erfindung nicht auf eine solche Struktur beschränkt. Beispielsweise kann die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung so konstruiert werden, daß ein erster piezoelektrischer Körper 91 eine piezoelektrische Keramikschicht und ein zweiter piezoelektrischer Körper 92 drei piezoelektrische Keramikschichten 92a bis 92c in einem gesinterten Körper 73 aufweist, wie es in Fig. 17 gezeigt ist.

Ähnlich kann eine piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung auch so aufgebaut werden, daß ein erster piezoelektrischer Körper 101 drei piezoelektrische Keramikschichten 101a bis 101c und ein zweiter piezoelektrischer Körper 102 fünf piezoelektrische Keramikschichten 102a bis 102e in einem gesinterten Körper 73 aufweist, wie es schematisch als Querschnittsdarstellung in Fig. 18 gezeigt ist.

Ferner muß die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach der vorliegenden Erfindung nicht so aufgebaut werden, daß der erste und der zweite piezoelektrische Körper direkt laminiert sind. Beispielsweise kann eine Keramikschicht 111, die nicht einer Polarisationsbehandlung ausgesetzt wird, zwischen dem ersten piezoelektrischen Körper 62 und dem zweiten piezoelektrischen Körper 63 vorgesehen sein, wie dies in Fig. 19 gezeigt ist. In diesem Fall wird bevorzugt, daß die obere und die untere Oberfläche der Keramikschicht 111 elektrisch auf das gleiche Potential gelegt werden.

Die oben beschriebenen monolithischen piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtungen bei den Ausführungsbeispielen und den abgewandelten Beispielen werden aufgebaut, indem der gesinterte Körper 73 verwendet wird, der durch Laminieren einer Vielzahl von sich im rohen Zustand befindenden Keramikplatten bzw. "grünen Keramikschichten" mit anschließendem gemeinsamen Brennen erhalten wird. Die monolithische piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach der Erfindung kann hergestellt werden, indem ein erster und ein zweiter piezoelektrischer Körper hergestellt werden und diese piezoelektrischen Körper aneinander befestigt sind.

Beispielsweise werden wie es Fig. 20 zeigt, ein erster monolithischer piezoelektrischer Körper 121 und ein zweiter piezoelektrischer Körper 122 nach demselben Verfahren, das zur Herstellung der in Fig. 16 gezeigten piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung verwendet wurde, getrennt hergestellt. Eine Spannung wird zwischen den jeweils äußersten Elektroden 123a und 123d sowie 124a und 124d der monolithischen piezoelektrischen Körper angelegt, um die entsprechenden piezoelektrischen Keramikschichten 125a bis 125c sowie 126a bis 126c in den piezoelektrischen Körpern 121 und 122 einer Polarisationsbehandlung auszusetzen. Dann werden der erste und der zweite monolithische Körper 121 und 122 unter Verwendung eines Epoxylebers aneinander befestigt, wodurch es möglich ist, die in Fig. 21 gezeigte monolithische piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung 127 zu erhalten.

Ferner können der erste und der zweite monolithische piezoelektrische Körper 121 und 122 aneinander über eine Metallplatte 131 aus einem Beilagematerial (Shim-Material bzw. Sim-Material) oder ähnlichem, gemäß Fig. 22 befestigt sein, oder der erste und der zweite piezoelektrische Körper 121 und 122 können aneinander über einen plattenförmigen Körper 132 aus einem Isoliermaterial gemäß Fig. 23 befestigt sein. Als plattenförmiger Körper 132 aus einem Isoliermaterial kann ein Körper aus Isolierkeramik, wie Zirkondioxid, verwendet werden.

Obgleich bei den oben beschriebenen abgewandelten Beispielen, die in Bezug auf die Fig. 20 bis 23 gezeigt sind, erste und zweite piezoelektrische Körper mittels eines gemeinsamen Brennens erhalten und dann aneinander befestigt wurden, um eine monolithische piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung zu schaffen, können auch einzelne getrennt gesinterte piezoelektrische Keramikplatten als jeweilige piezoelektrische Keramikschichten für den ersten und den zweiten Körper verwendet werden, und alle werden aneinander angebracht, um die monolithische piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung zu schaffen.

Ferner kann die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach der Erfindung erhalten werden, indem beispielsweise die Orientierungsrichtung einer orientierten dünnen Schicht aus ZnO oder ähnlichem bei der Dünnschichtherstellung durch Aufstäuben oder ähnliche Verfahren gesteuert wird.

Der bei der Erfindung verwandte piezoelektrische Körper ist nicht auf den oben beschriebenen aus piezoelektrischer Keramik beschränkt. Beispielsweise kann er aus einem Einkristall sein. Ferner wird darauf hingewiesen, daß eine Schicht mit umgekehrter Polarisierung aus LiTaO_3 oder LiNbO_3 , die ein piezoelektrischer Einkristall ist, verwendet werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung, die direkt oder indirekt laminierte erste und zweite piezoelektrische Körper umfaßt, wobei der erste und der zweite piezoelektrische Körper jeweils eine piezoelektrische Schicht oder eine laminierte piezoelektrische Schicht aufweisen, die durch Laminieren von nicht weniger als zwei piezoelektrischen Schichten erhalten wird, und einer Polarisationsbehandlung derart unterworfen und elektrisch miteinander derart verbunden werden, daß sie sich in derselben Richtung ausdehnen oder zusammenziehen, und wobei der erste und der zweite piezoelektrische Körper elektrisch derart in Reihe miteinander verbunden sind, daß sie sich in entgegengesetzten Richtungen zusammenziehen oder ausdehnen, dadurch gekennzeichnet, daß, wenn bei der in dem ersten oder zweiten piezoelektrischen Körper enthaltenen piezoelektrischen Schicht t_1 die Dickenabmessung der piezoelektrischen Schicht und E_c die Koerzitivfeldstärke des die piezoelektrische Schicht bildenden piezoelektrischen Materials bedeuten und mit V_1 der Minimalwert des Produktes $E_c \cdot t_1 = V_{c1}$ bezeichnet ist, und wenn bei der in dem anderen piezoelektrischen Körper enthaltenen piezoelektrischen Schicht t_2 die Dickenabmessung der piezoelektrischen Schicht und E_c die Koerzitivfeldstärke des die piezoelektrische Schicht bildenden piezoelektrischen Materials bedeuten und mit V_2

der Minimalwert des Produktes $E_c \cdot t_2 = V_{c2}$ bezeichnet ist, eine elektrische Spannung von nicht weniger als $(V_1 + V_2)$ an die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung angelegt wird.

2. Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite piezoelektrische Körper jeweils einzige piezoelektrische Schichten aufweisen.

3. Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite piezoelektrische Körper laminiert sind und daß sie durch ein plattenförmiges Element getrennt sind.

4. Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das plattenförmige Element eine Metallplatte ist.

5. Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das plattenförmige Element aus einem keramischen Werkstoff hergestellt ist und keiner Polarisationsbehandlung unterworfen wird.

6. Verfahren zum Treiben einer piezoelektrischen Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite piezoelektrische Körper jeweils laminierte piezoelektrische Schichten aufweisen, von denen jede eine Vielzahl von piezoelektrischen Schichten umfaßt.

7. Piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung mit direkt oder indirekt laminierten ersten und zweiten piezoelektrischen Körpern, dadurch gekennzeichnet, daß sie so aufgebaut ist, daß der erste oder der zweite piezoelektrische Körper (62, 63; 91, 92; 101, 102) eine piezoelektrische Schicht oder eine laminierte piezoelektrische Schicht aufweist, die durch Laminieren von nicht weniger als zwei piezoelektrischen Schichten erhalten wird, und der andere eine laminierte piezoelektrische Schicht aufweist, die durch Laminieren von nicht weniger als zwei piezoelektrischen Schichten erhalten wird, und eine Vielzahl von piezoelektrischen Schichten in jeder der laminierten piezoelektrischen Schichten derart einer Polarisationsbehandlung unterworfen wurden und derart elektrisch miteinander verbunden sind, daß sie sich in derselben Richtung ausdehnen oder zusammenziehen, und daß der erste und der zweite piezoelektrische Körper (62, 63; 91, 92; 101, 102) elektrisch in Reihe miteinander derart verbunden sind, daß die piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung in der Weise betreibbar ist, daß sich der erste und der zweite piezoelektrische Körper (62, 63; 91, 92; 101, 102) in entgegengesetzten Richtungen zusammenziehen oder ausdehnen.

8. Piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite piezoelektrische Körper laminierte piezoelektrische Schichten umfassen, die durch Laminieren von nicht weniger als zwei piezoelektrischen Schichten erhalten werden.

9. Piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vielzahl von Anschlußelektroden (65a, 65b, 65c) an der äußeren Oberfläche eines laminierten

ten Körpers (61) ausgebildet sind, der durch direktes oder indirektes Laminieren des ersten oder des zweiten piezoelektrischen Körpers (62, 63) erhalten worden ist, und daß die Vielzahl von piezoelektrischen Schichten derart verbunden sind, daß der erste und der zweite piezoelektrische Körper (62, 63) durch die Vielzahl von Anschlußelektroden betrieben werden kann. 5

10. Piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vielzahl von Durchgangselektroden (81, 82, 83) in einem laminierten Körper (73) ausgebildet sind, der durch direktes oder indirektes Laminieren des ersten und des zweiten piezoelektrischen Körpers erhalten wird, und 10
daß die Vielzahl von piezoelektrischen Schichten mittels der Durchkontaktierungselektroden elektrisch verbunden sind. 15

11. Piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der laminierte Körper (73), der durch direktes oder indirektes Laminieren des ersten und des zweiten piezoelektrischen Körpers (62, 63; 91, 92; 101, 102) erhalten wird, ein gesinterter Körper vom gemeinsam gebrannten Typ ist. 20
25

12. Piezoelektrische Zweielementkristall-Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der erste piezoelektrische Körper (91) eine einzige piezoelektrische Keramikschicht und der zweite piezoelektrische Körper (92) eine Vielzahl von piezoelektrischen Keramikschichten (92a, 92b, 92c) umfassen. 30

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

FIG.1

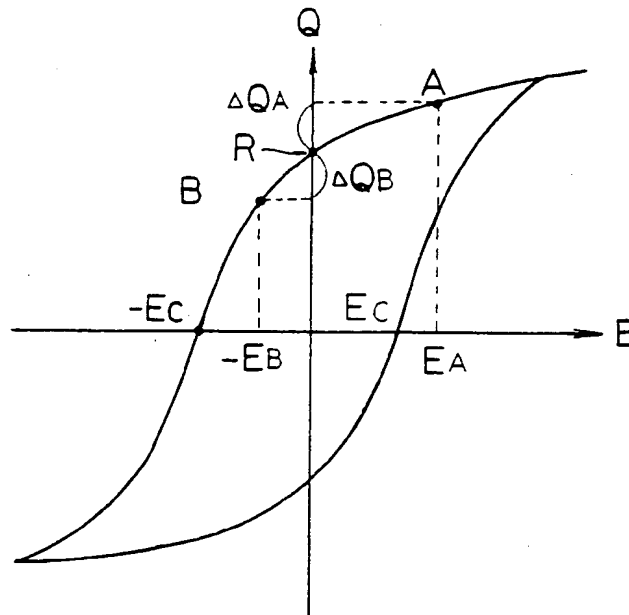


FIG.2

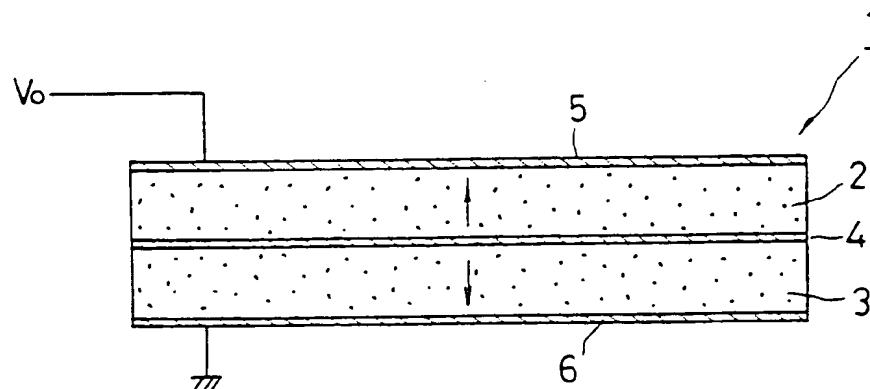


FIG.3

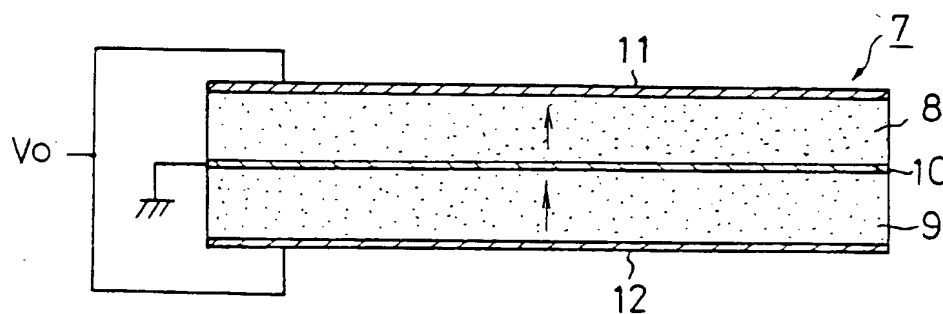


FIG.4

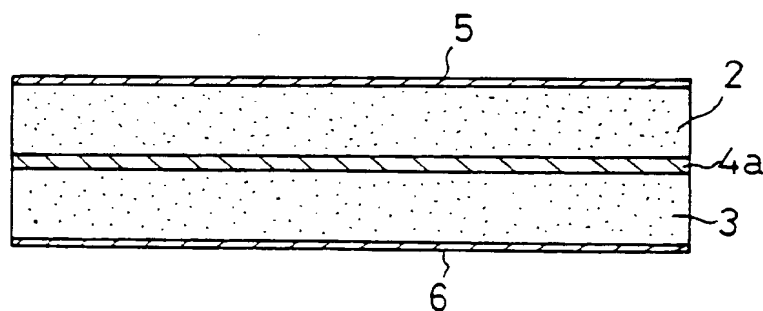


FIG.5

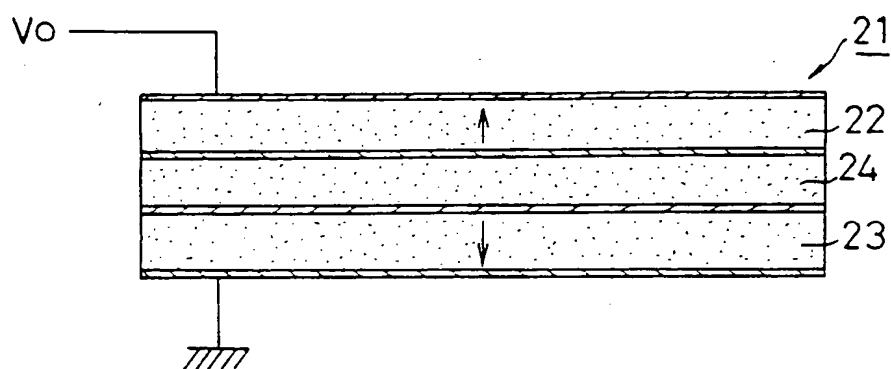


FIG.6

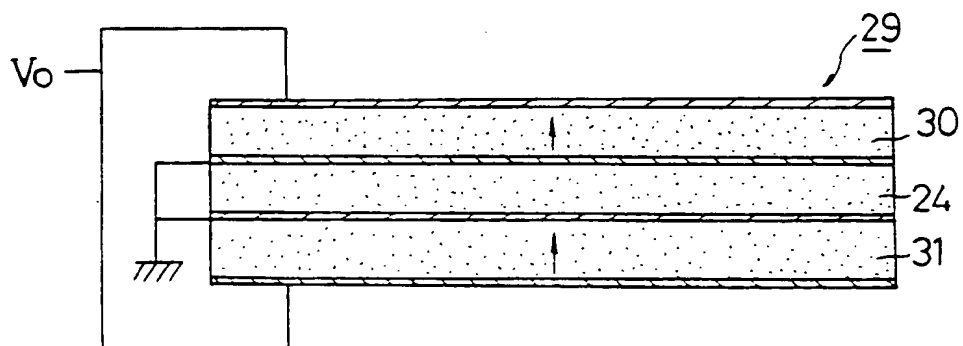


FIG.7

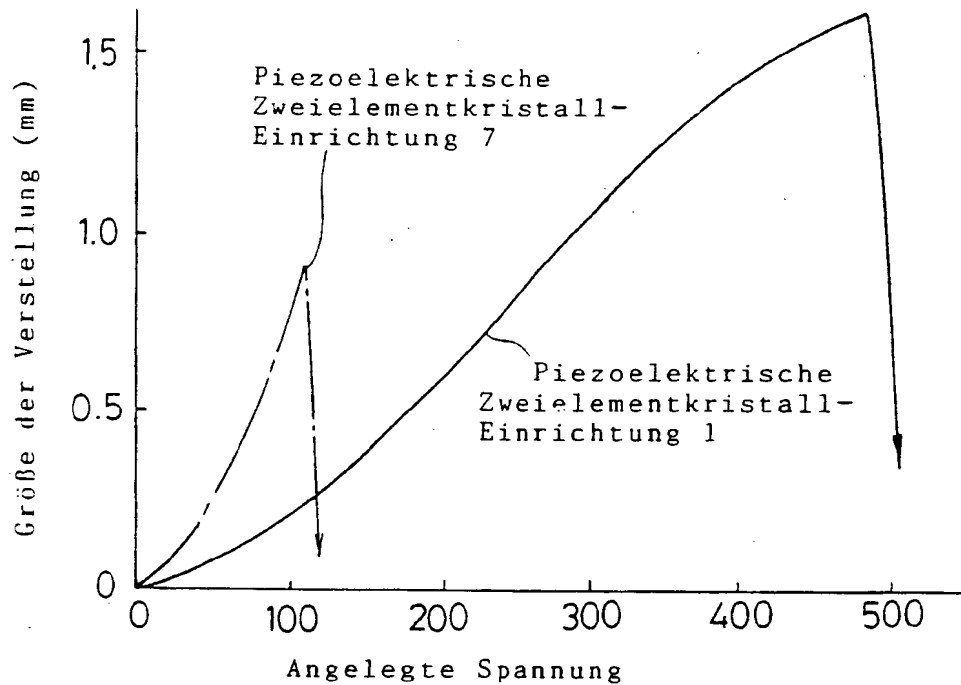


FIG.8

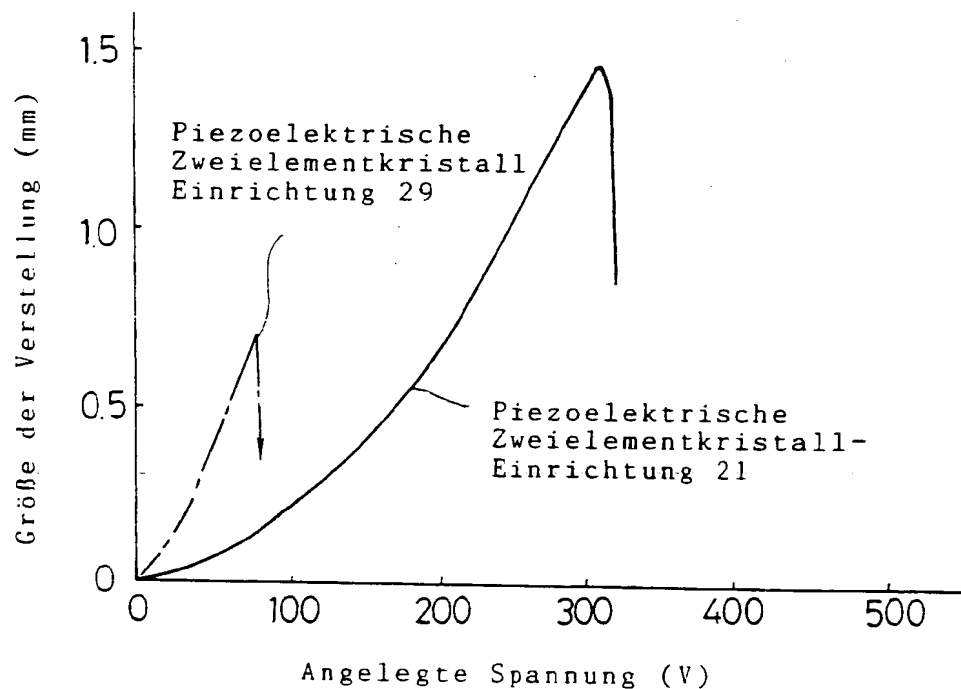


FIG. 9

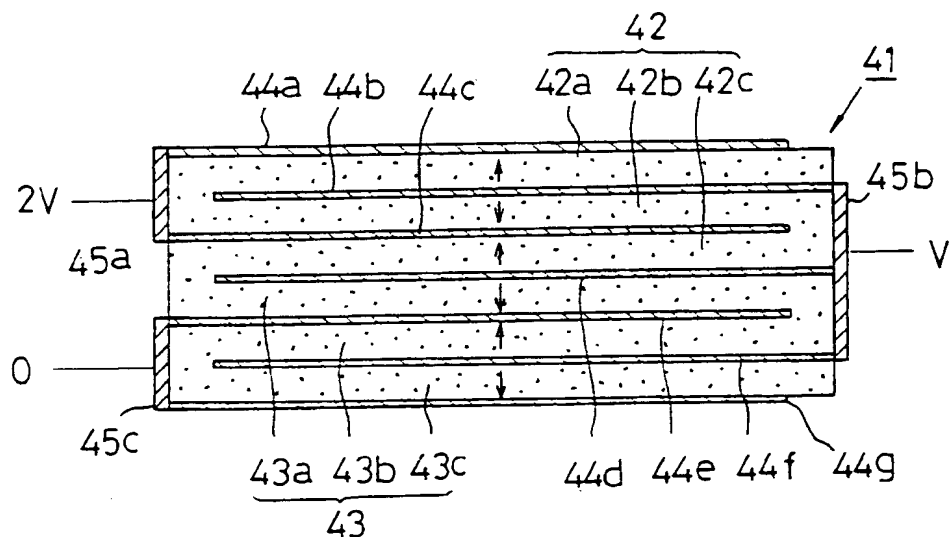


FIG. 10

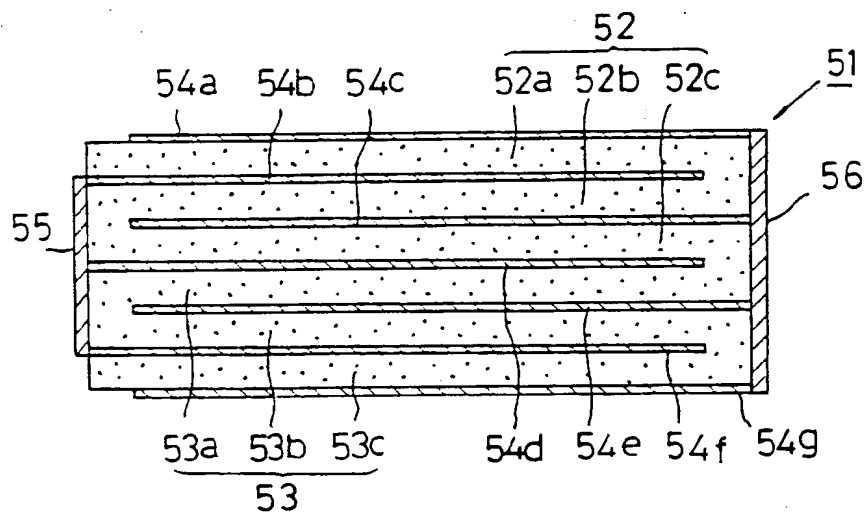


FIG.11

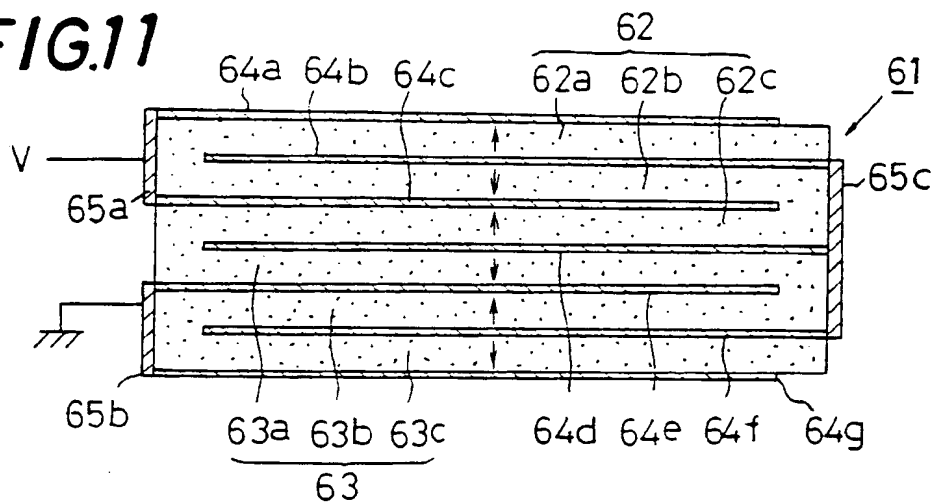


FIG.13

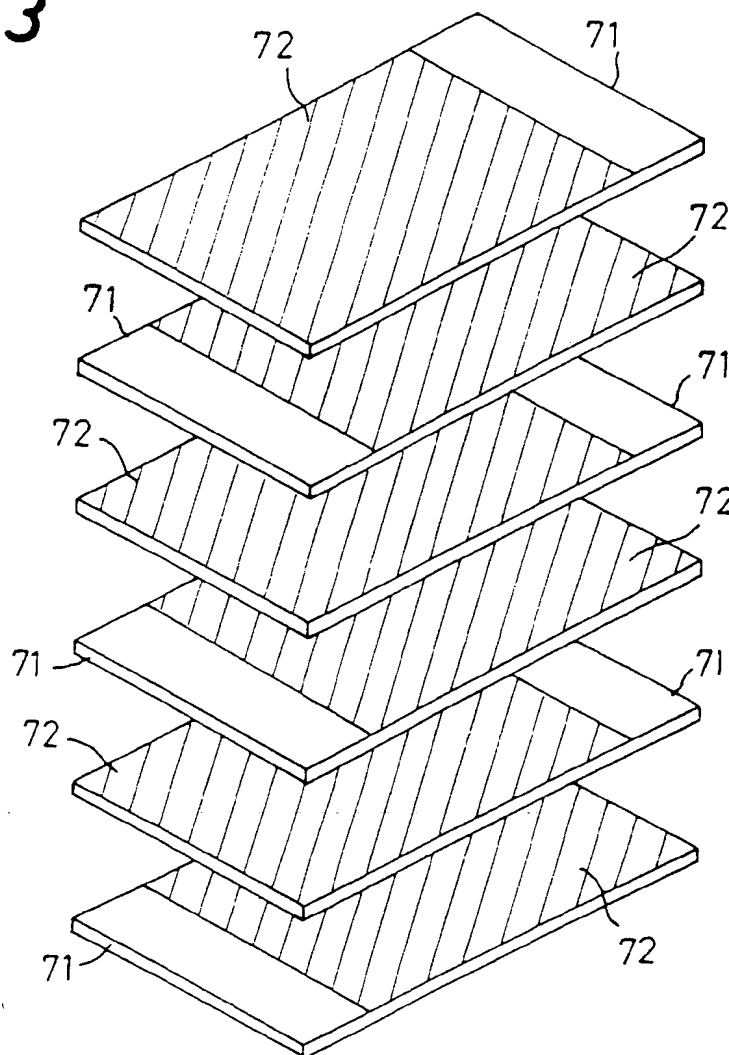


FIG.12

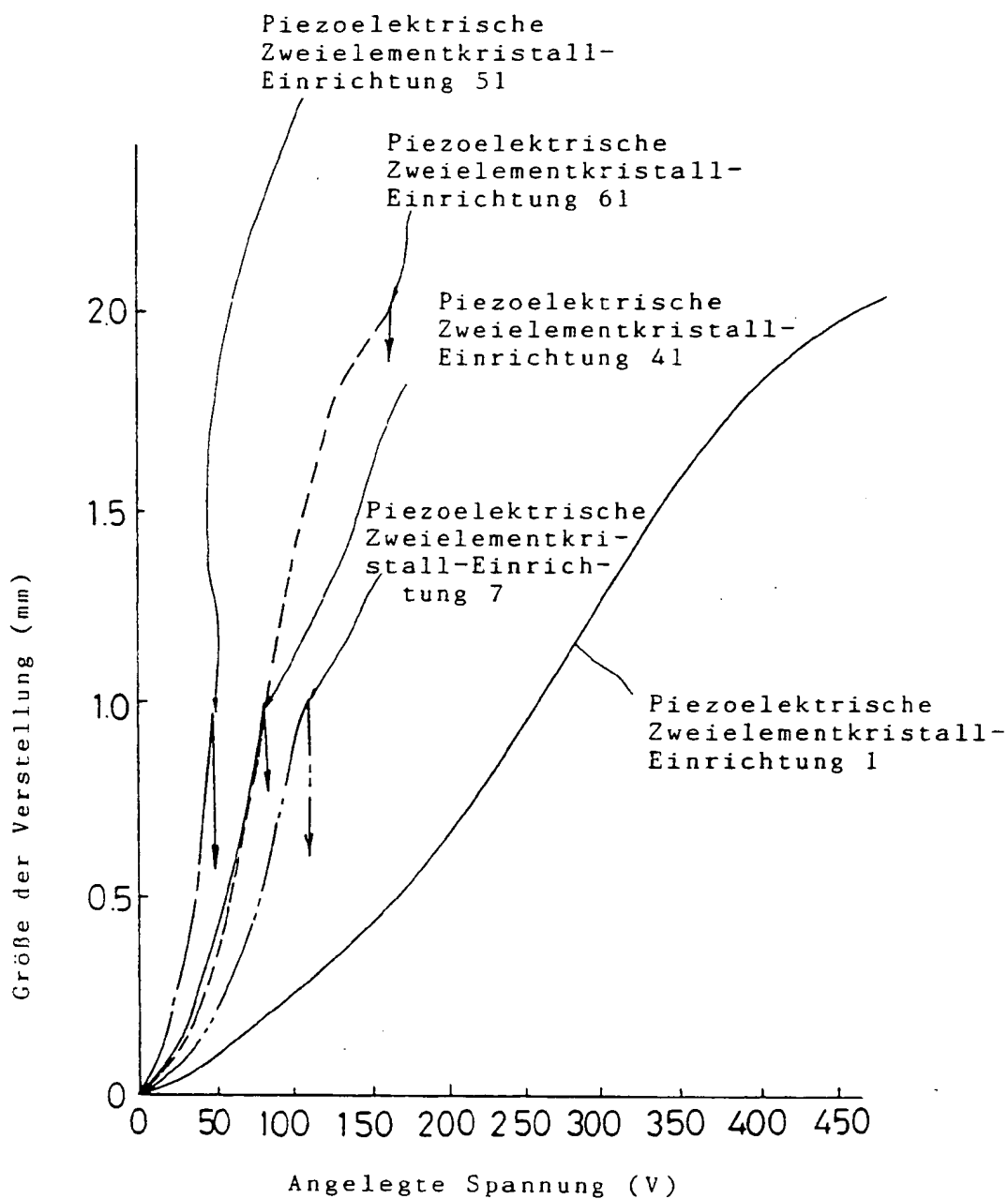


FIG.14

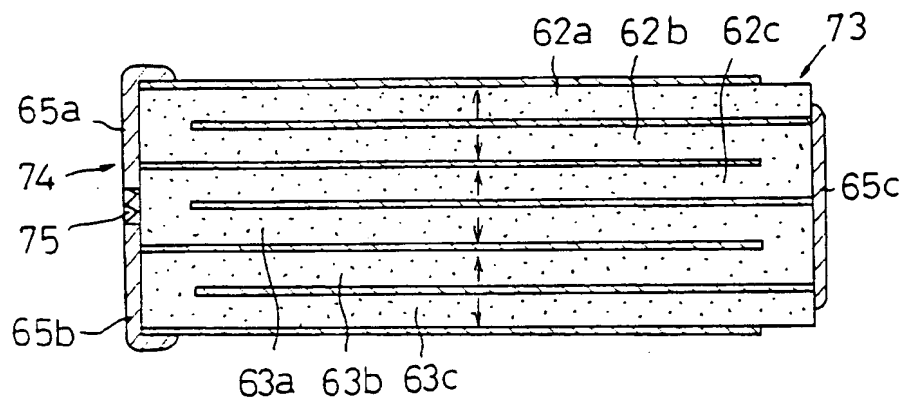


FIG.15

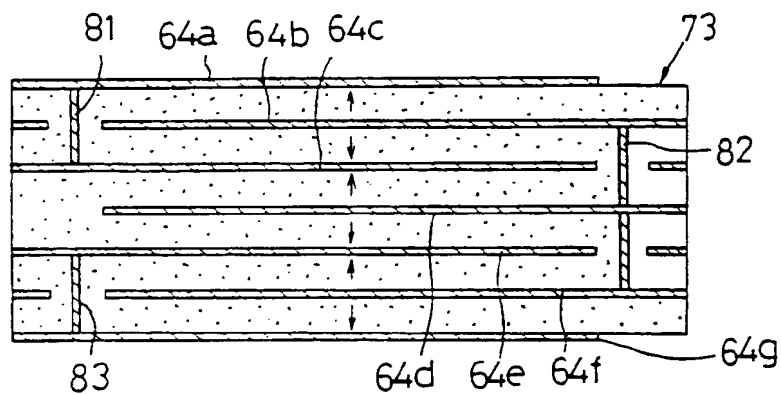


FIG.16

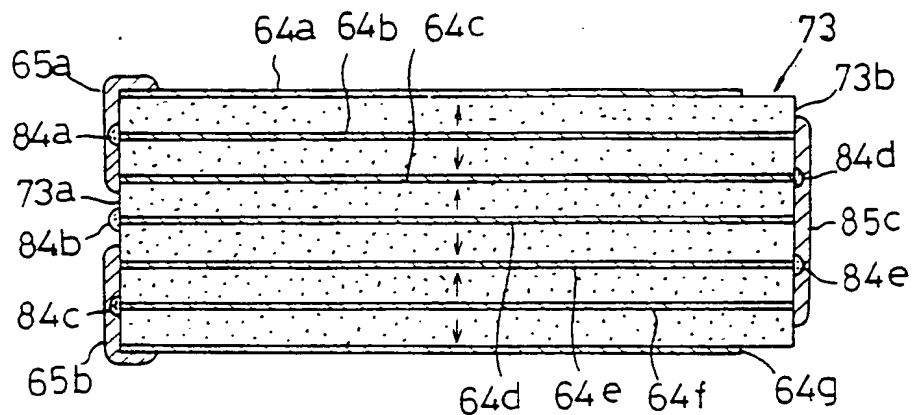


FIG.17

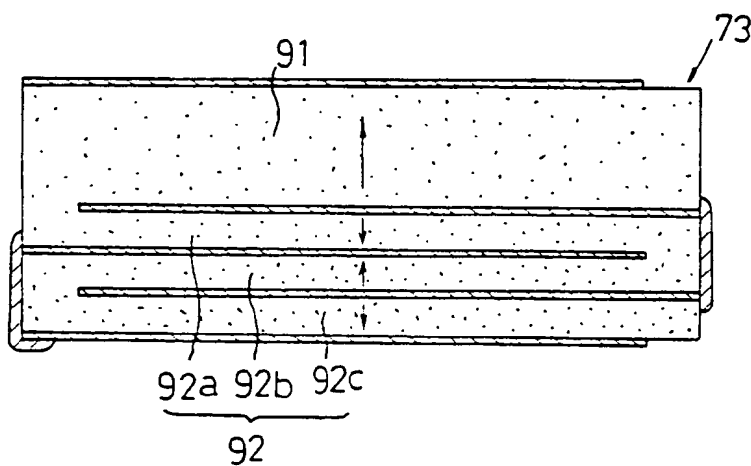


FIG.18

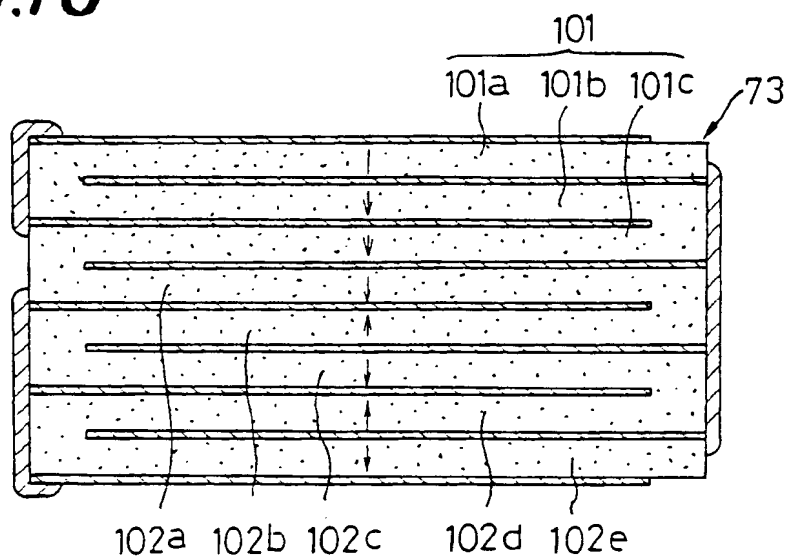


FIG.19

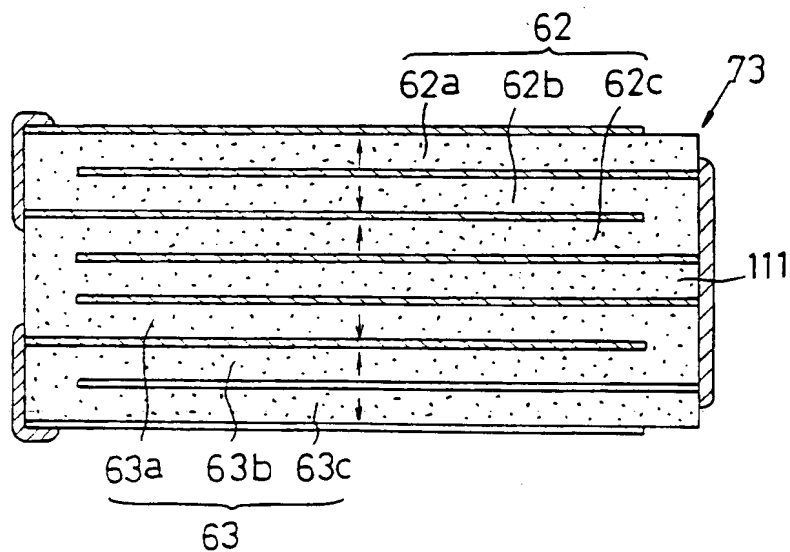


FIG.20

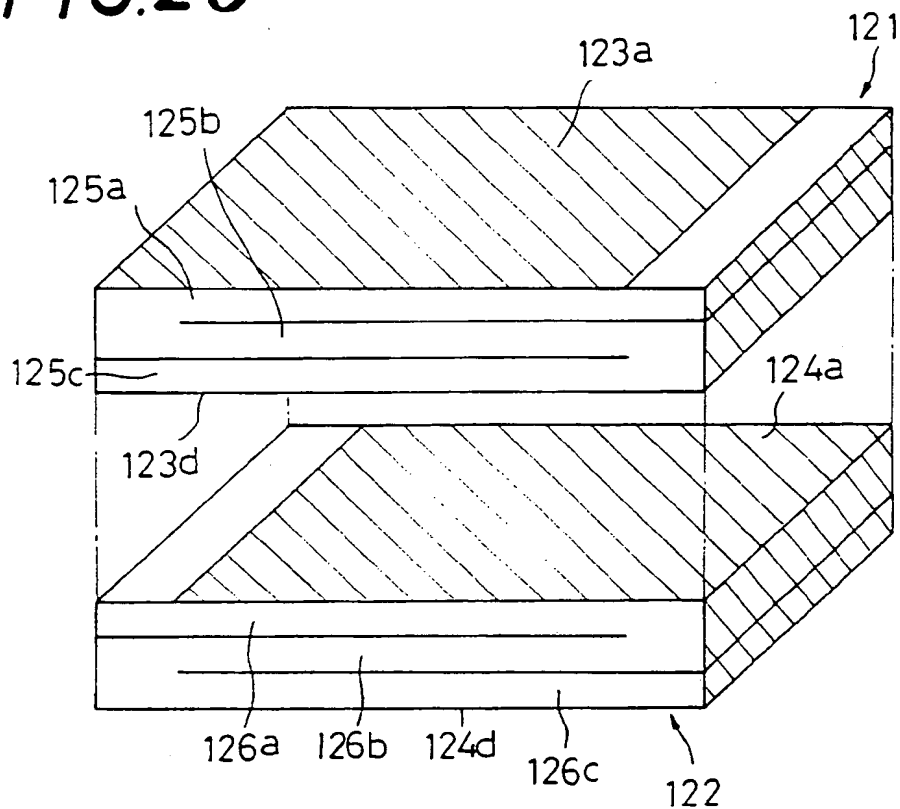


FIG.21

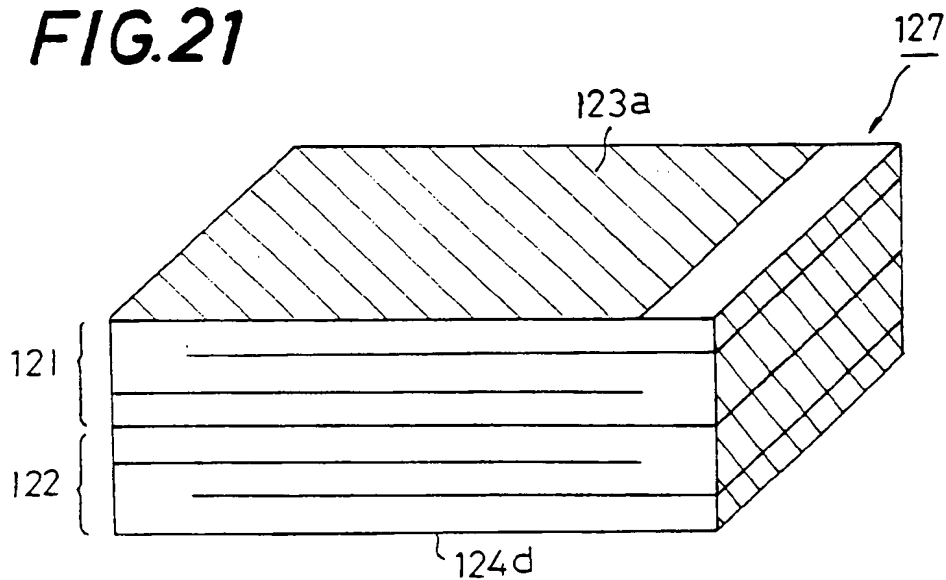


FIG.22

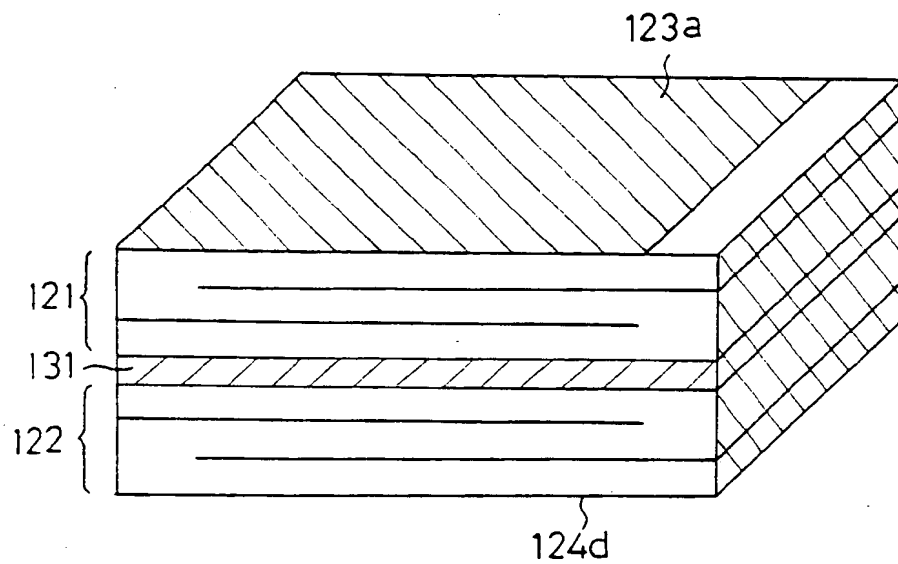
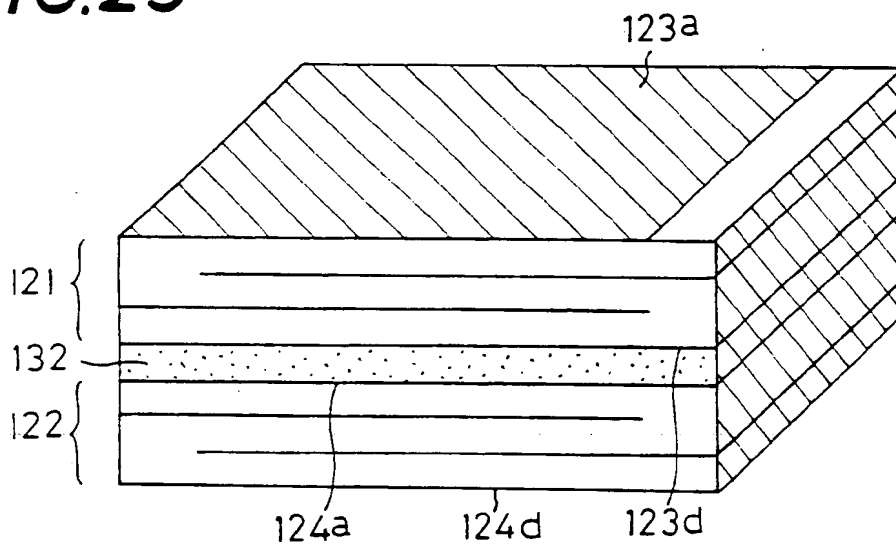


FIG.23



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)